

# Research on harmonic management technology of grid-connected electrical system of new energy power plant

Gaoqiang Hou<sup>1</sup> Qizhen Wang<sup>2</sup> Shuai Wang<sup>3</sup>

1. RunDian New Energy (Zhejiang) Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311200, China
2. CR Huarun Offshore Wind Power (Cangnan) Co., Ltd. Wenzhou City, Zhejiang Province, 325802, China
3. China Resources Power (Wenzhou) Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

## Abstract

This paper focuses on the harmonic problems and governance technology of grid-connected electrical systems of new energy power plants. When new energy power plants are connected to the grid, harmonics will cause three types of core problems: destroying the stability of power grid operation and interfering with grid voltage and frequency; aggravate the loss of power equipment and shorten the life of equipment; Reduce the compliance rate of power quality and affect the normal operation of electrical equipment. In order to solve these problems, this paper analyzes three mainstream governance technologies: passive filtering technology as a traditional solution, which realizes specific harmonic filtration by component combination, which is economical and reliable; Active filtering technology relies on power electronic devices and algorithms to dynamically and accurately compensate harmonics; Hybrid filtering technology combines the advantages of the first two to efficiently cope with complex harmonic scenarios and provide a comprehensive reference for the harmonic governance of new energy grid-connected.

## Keywords

new energy power plant; electrical systems; Harmonic governance

# 新能源发电厂并网电气系统的谐波治理技术研究

侯高强<sup>1</sup> 王启震<sup>2</sup> 王帅<sup>3</sup>

1. 润电新能源（浙江）有限公司，中国·浙江 杭州 311200
2. 华润海上风电（苍南）有限公司，中国·浙江 温州 325802
3. 华润电力（温州）有限公司，中国·浙江 温州 325000

## 摘要

文章聚焦新能源发电厂并网电气系统的谐波问题与治理技术展开研究。新能源发电厂并网时，谐波会引发三类核心问题：破坏电网运行稳定性，干扰电网电压与频率；加剧电力设备损耗，缩短设备寿命；降低电能质量达标率，影响用电设备正常运行。针对这些问题，本文分析了三种主流治理技术：无源滤波技术作为传统方案，凭借元件组合实现特定谐波过滤，经济可靠；有源滤波技术依托电力电子器件与算法，动态精准补偿谐波；混合滤波技术融合前两者优势，高效应对复杂谐波场景，为新能源并网谐波治理提供全面参考。

## 关键词

新能源发电厂；电气系统；谐波治理

## 1 引言

随着光伏、风电等新能源大规模并网，其电气系统产生的谐波问题愈发突出。谐波不仅干扰电网稳定运行，还加剧设备损耗、降低电能质量，制约新能源消纳。因此，深入研究谐波治理技术意义重大。本文围绕新能源并网电气系统的谐波问题，分析无源、有源及混合滤波三类主流治理技术，旨在为提升并网电能质量、保障电网安全提供技术参考。

【作者简介】侯高强（1990-），男，中国安徽临泉人，本科，工程师，从事发电厂电气研究。

## 2 新能源发电厂并网电气系统谐波问题

### 2.1 电网运行稳定性破坏问题

在新能源发电领域，光伏与风电作为主流并网发电类型，其发电系统的核心设备——电力电子变流器（如光伏逆变器、风电变流器）在能量转换与并网过程中，不可避免地会产生大量特征次谐波。这类谐波并非随机出现，而是与变流器的拓扑结构、调制策略紧密相关，常见的 3 次、5 次、7 次谐波便是典型代表。这些谐波并非孤立存在，而是以电流形式持续注入公共电网，与电网固有的等效阻抗形成复杂的相互作用，进而触发谐振现象。这种谐振并非简单的能量叠加，而是会打破电网原有的电压与频率平衡状态。原本稳

定的电网电压会因谐波电流的干扰出现不规则波动，电压幅值在短时间内反复升降；同时，电网频率也会偏离额定值，出现细微但持续的波动。更为严重的是，当谐波频率与电网局部的固有频率接近或重合时，会引发“电压闪变”，这种闪变不仅表现为电压幅值的周期性变化，还会通过电网传导至周边区域，影响更大范围的电力供应稳定性。以风电场为例，其发电过程受自然条件影响显著，风速的瞬时变化会直接导致风机输出功率的剧烈波动。为了维持并网功率的相对稳定，风电变流器需要频繁调整自身的运行工况，包括开关频率、调制比等关键参数。这种频繁调整会进一步加剧谐波的产生，使得谐波幅值不再稳定，而是呈现出周期性或随机性的波动。波动的谐波电流注入电网后，会对电网保护装置产生干扰——原本用于监测电网正常故障（如短路、过载）的保护装置，可能将谐波引发的异常信号误判为故障信号，从而触发误动作。

## 2.2 电力设备损耗加剧与寿命缩短问题

在新能源发电厂并网电气系统中，变压器、电抗器、电缆作为能量传输与转换的核心设备，长期处于谐波环境中时，其正常运行状态会被严重干扰，进而产生额外损耗与不可逆损伤。这些设备原本是按照基波电流、电压设计运行参数，而谐波的介入打破了这种设计平衡，从多个维度对设备造成持续性破坏。从损耗角度来看，谐波的影响主要体现在“附加铜损”与“附加铁损”的双重叠加。对于变压器、电抗器的绕组以及电缆导体而言，谐波电流会使其内部电流分布发生改变，原本均匀的电流会向导体表面集中，这种现象会导致电流通过的有效截面积减小，电阻增大，进而产生远超基波工况下的“附加铜损”。同时，谐波电压会作用于变压器、电抗器的铁芯，使铁芯内部的磁滞回线变宽，磁滞损耗增加；更会引发铁芯中磁通量的高频变化，产生涡流，这些涡流在铁芯内部形成环流，进一步转化为热量，即“附加铁损”。这两种附加损耗共同作用，会使设备内部温度持续升高，超出正常运行的温度范围<sup>[1]</sup>。而设备中的绝缘材料，如变压器内部的绝缘油、绝缘纸，以及电缆的绝缘层，对温度极为敏感，长期处于高温环境中，其物理性能会逐渐劣化——绝缘油的黏度降低、介损增大，绝缘纸的机械强度下降、老化变脆，最终失去原有的绝缘保护能力，为设备故障埋下隐患。

## 2.3 电能质量达标率下降问题

电能质量是衡量电网供电可靠性与安全性的关键指标，其中谐波电压总畸变率是核心考核参数之一。我国《电能质量公用电网谐波》（GB/T 14549-1993）中，针对不同电压等级明确了严格的谐波控制标准，这一标准的制定并非凭空设定，而是基于保障电网稳定运行、保护用电设备安全以及实现能源高效利用的实际需求，为新能源发电厂并网行为划定了必须遵守的技术红线。然而，在新能源并网系统的实际运行中，谐波的产生却极易突破这一标准限制，导致电能质

量指标严重偏离合格范围<sup>[2]</sup>。从电压层面来看，电网正常运行时的电压波形应呈现规则的正弦波，而谐波电压的介入会打破这种规则性。谐波电压与基波电压相互叠加后，原本平滑的正弦波形会发生明显畸变，出现尖锐的波峰、平缓的波谷或不规则的波动。这种畸变的电压信号传输至用户端后，会对不同类型的用电设备产生显著影响。对于精密仪器而言，其内部电路对电压波形的稳定性要求极高，畸变的电压会导致仪器检测精度下降、数据采集出现偏差，甚至引发电路元件故障；而对于电机类设备，非正弦波的电压会使其内部磁场分布不均，产生额外的电磁转矩波动，导致电机运行时出现转速不稳定、噪声增大的情况，长期运行还会加剧电机内部部件的磨损，缩短设备使用寿命。从电流与功率层面分析，谐波的影响同样不容忽视。谐波电流在电网中流动时，会与基波电流相互作用，改变电网的功率传输特性。正常情况下，电网中的功率因数应维持在较高水平，以确保电能的有效利用，而谐波电流的存在会使功率因数大幅降低。这是因为谐波电流并不参与有功功率的传输，却会占用电网的传输容量，导致电网在传输同等有功功率时，需要承载更多的无功功率损耗。

## 3 新能源发电厂并网电气系统的谐波治理技术

### 3.1 无源滤波技术：传统可靠的基础治理方案

随着新能源发电行业发展，光伏、风电等发电厂接入公共电网，谐波问题逐渐暴露。早期电力电子技术不成熟，对谐波动态治理能力有限，而无源滤波技术凭借长期应用经验、清晰原理及稳定表现，成为新能源并网系统中最早广泛应用的谐波治理手段。经多年实际项目检验，其技术成熟度获行业认可，即便当下，仍是中小型新能源项目或特定谐波场景的重要基础治理方案<sup>[3]</sup>。

从技术核心看，无源滤波技术关键在于对电感、电容、电阻三类无源元件的合理组合与参数匹配。三类元件特性不同：电容阻抗随频率升高而降低，对高频谐波呈低阻抗，为其提供“便捷通道”；电感阻抗随频率升高而增大，对低频谐波呈低阻抗，是低频谐波主要通路。实际设计中，工程师先分析新能源并网系统的主要谐波频次（如光伏、风电逆变器常见的特定次谐波），再依谐波特性计算确定 LC 串、并联回路参数。LC 串联回路固有谐振频率与目标谐波频率一致时，阻抗降至最低，可“吸引”电网中该次谐波电流流经滤波回路，避免注入电网；LC 并联回路与目标谐波频率谐振时，呈高阻抗，如“防护屏障”阻止谐波电流向电网传输，实现谐波分流，为电网稳定筑第一道防线。技术优势上，无源滤波技术“简单性”突出：结构仅由基础电气元件构成，无需复杂控制单元与功率驱动模块，连接清晰，生产制造、现场安装调试操作简便，对施工人员技术要求低。成本方面，无源元件原材料易获取、生产工艺成熟，整体造价远低于依赖高精度电力电子器件的有源滤波技术，对预算有限的中小

型新能源厂或仅需治理固定频次谐波的场景，经济性强，能在控成本的同时满足基础谐波治理需求。

### 3.2 有源滤波技术：动态精准的灵活治理方案

在新能源并网系统谐波治理需求不断升级的背景下，有源滤波技术凭借其动态调控能力，成为应对谐波波动的核心选择。该技术的核心支撑是两类关键要素：一是高性能电力电子器件，这些器件具备快速开关特性，能精准控制电流输出；二是先进的实时检测控制算法，可实现对谐波信号的快速捕捉与分析。二者协同作用，让有源滤波技术突破了传统无源滤波的局限，实现对谐波的动态追踪与精准补偿，尤其适用于新能源发电中谐波频繁变化的场景<sup>[4]</sup>。

其工作流程是一套环环相扣的精准操作体系。第一步的谐波检测环节至关重要，检测模块会实时采集并网点的电压与电流信号，通过特定算法对信号进行分解处理，从复杂的混合信号中准确分离出谐波分量，为后续补偿提供精准依据。这一步就像“谐波探测器”，确保不会遗漏任何需要治理的谐波信号。第二步进入指令生成阶段，控制单元接收检测模块传来的谐波数据后，会快速运算并生成对应的补偿指令，指令需精准匹配谐波的特征，为补偿动作提供明确指引。第三步是补偿执行，电力电子变流器根据指令，迅速输出与原有谐波电流特性相反的补偿电流，当这股补偿电流注入电网后，便能与原有谐波电流相互抵消，最终让电网电流恢复为近似标准的正弦波，保障电能质量。相较于无源滤波技术，有源滤波的优势十分突出。在响应速度上，它能在极短时间内完成从检测到补偿的全过程，面对新能源发电中因外界条件变化引发的谐波波动，能迅速做出反应，避免谐波累积。滤波范围方面，它不再局限于特定次数谐波，可对多种次数的谐波同时进行治理，覆盖范围更广，能应对新能源并网系统中复杂的谐波频谱。补偿精度上，凭借精准的算法与器件控制，能将谐波抑制在极低水平。更重要的是，它不受电网阻抗变化的影响，即便电网工况调整，仍能保持稳定的治理效果，完美适配新能源发电功率波动带来的谐波变化。在实际应用中，有源滤波器的安装位置经过精心考量，常设置在变流器出口或并网点母线处，这样能在谐波产生后快速介入治理，减少谐波对系统其他设备的影响。对于谐波频次复杂、幅值波动大的大型风电场、集中式光伏电站等场景，有源滤波技术更是发挥着不可替代的作用。

### 3.3 混合滤波技术：优势互补的高效治理方案

在新能源发电厂并网系统谐波治理需求日益复杂的背景下，单一滤波技术难以兼顾治理效果与经济性，混合滤波技术应运而生。它并非简单叠加无源与有源滤波技术，而是基于两者特性进行深度融合，构建“主辅协同”的治理模式——让无源滤波承担主要谐波治理量，有源滤波聚焦剩余谐波与动态波动补偿，通过分工协作实现高效且经济的谐波治理目标，完美解决了单一技术在治理能力或成本上的短板<sup>[5]</sup>。

其典型结构设计充分考虑了新能源并网系统的谐波特点。在并网点处并联的无源滤波支路，主要针对系统中占比高、幅值大的特征次谐波发挥作用。这类谐波在新能源发电过程中产生量稳定，是影响电能质量的主要因素，无源滤波支路能凭借成熟的回路设计，高效滤除这类谐波，大幅降低后续有源滤波模块的补偿压力，避免有源模块长期处于高负荷运行状态，延长设备使用寿命。

## 4 结语

文章围绕新能源发电厂并网电气系统的谐波问题与治理技术展开研究，明确电网稳定性破坏、设备损耗加剧、电能质量下降是谐波引发的核心问题，且三类问题均会制约新能源并网效益。通过分析可知，无源滤波技术经济可靠，适用于固定谐波治理；有源滤波技术动态精准，可应对谐波波动；混合滤波技术优势互补，能适配复杂场景。三者为谐波治理提供多元解决方案，对提升并网电能质量、保障电网安全运行具有实践意义，未来可进一步探索智能算法与滤波技术的融合，推动治理方案升级。

## 参考文献

- [1] 闫欣宁,韩凤鸣.新能源发电产业高质量发展的价格杠杆效应研究[J].价格月刊,2024,(09):1-7.
- [2] 魏斌.新能源发电行业安全管理体系构建及消防应急管理研究[J].消防界(电子版),2024,10(12):10-12.
- [3] 陈春,邓丰.“双碳”目标下“发电厂电气部分”的课程改革与探讨[J].教育教学论坛,2023,(31):73-76.
- [4] 高艳艳,蔡伟东.火力发电厂中新能源发电技术的应用研究[J].通信电源技术,2018,35(05):168-169.
- [5] 梁秋艳,魏天路,姜永成,牛国玲.新能源背景下农业电气化与自动化专业结构调整[J].经济师,2016,(06):184-185.